第46卷 第5期
2023年5月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 5
May 2023

# 干旱区耕地质量等级时空变化及其评价
## ——以西宁市为例

潘 雪[1]， 关宇淇[2]， 潘占东[2]， 刘 杰[1]， 蔡立群[2]， 董 博[3]， 杜 健[2]

（1. 黑龙江省黑土保护利用研究院，黑龙江 哈尔滨 150000；2. 甘肃农业大学资源与环境学院，甘肃 兰州 730070；3. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所，甘肃 兰州 730070）

**摘 要：**以青海省西宁市为研究对象，依据《耕地质量等级》(GB/T33469-2016)，采用特尔斐法、层次分析法、模糊数学法等方法，构建西宁市耕地质量评价指标体系；结合地理信息系统(GIS)软件技术，对西宁市2015年和2018年耕地质量进行评价，并分析西宁市耕地质量时空分布和土壤养分特征，探究西宁市耕地质量现状。结果表明：(1) 2015年和2018年耕地质量平均等级分别为6.74和6.33，4 a间提升0.41，耕地质量等级总体提升主要来自三、四、五、七等地，其中高、中等地总面积占总耕地面积的比例2018年较2015年增加1.49%。(2) 4 a间的耕地质量等级在空间分布上差异较大，高、中等地主要集中在中部的湟中区及北部大通回族土族自治县(简称大通县)，低等地主要分布在边缘靠山区及海拔较高地区，耕地质量提升的耕地主要来自大通县、湟源县、湟中区。(3) 相较2015年，2018年土壤有机质、有效磷、速效钾含量均增加，其中有效磷含量评价等级上升。研究结果对西宁市全域范围内耕地质量展开综合评价，其结果能够很好地反映该地区当前耕地质量状况，对农业生产具有指导意义。

**关 键 词：**耕地质量；等级变化；空间分布；地理信息系统(GIS)；西宁市

**文章编号：**1000－6060(2023)05－0793－11(0793～0803)



耕地是保障农业生产和农产品供应的基础，随经济和工业化的快速发展，中国耕地出现不同程度的退化，影响作物安全生产和国家农业生产结构的总体战略布局[1-4]。现阶段，消费者对农产品的需求由数量转变为安全、绿色、优质[5]；因此，保护耕地、提升耕地质量刻不容缓。摸清现有耕地资源状况对于中国生态、经济、民生发展均起到至关重要的作用，而耕地质量评价是调查和摸清现有耕地资源状况的重要手段[6]。为保障粮食供应安全，国家划定了$1.2\times10^8$ $hm^2$耕地红线，出台有关加强耕地保护和征地-补贴平衡政策[7]。2016年，农业农村部下发《耕地质量等级》(GB/T33469-2016)(简称“标准”)，规范和统一了现阶段耕地质量评价的方法和步骤，并要求全国开展新时期耕地质量评价工作，当前耕地质量评价主要从耕地质量等级、时空变化和主要养分特征3个方面开展工作。姚东恒等[8]对东北典型黑土区2008年和2018年耕地质量进行评价，探讨该地区耕地质量等级变化和空间分布特征，10 a间，耕地质量等级提升了1.22个等级；康钦俊[9]对全国九大农区之一的黄土高原区2018年耕地质量等级及土壤养分空间变化进行评价，初步掌握该区域的土壤养分和耕地质量状况，分析影响土壤养分空间差异的主要因素并给出了该区域未来耕地利用的建议；戴文举等[10]以吴川县为例，对县域耕地质量和产能展开了评价。近年来，耕地质量评价在全国逐步开展，但依然存在一些问题，如：目前已有的评价成果，缺乏统一标准，并不能很好地反映实际耕地质量现状，需要及时更新和补充相应的数据资

**收稿日期：**2022-08-11； **修订日期：**2022-11-07
**基金项目：**农业农村部农田建设管理司“耕地质量保护专项(国家耕地质量监测)”(CTEC2020B326)；甘肃省重点研发计划项目(20YF8-NA107)；甘肃省农业科技专项(GNKJ-2021-32)资助
**作者简介：**潘雪(1996-)，男，硕士，助理研究员，主要从事农业生态研究. E-mail: 793999040@qq.com
**通讯作者：**刘杰(1974-)，男，博士，研究员，主要从事农业废弃物资源化利用技术、土壤改良方面研究. E-mail: liujie1677@126.com

料。另外,中国地形、气候复杂多样不利于采取大面积、相同方式的耕地调查。就该领域目前研究现状而言,东部沿海等经济发达地区耕地质量提升、土壤培肥等研究较多,大多数研究体系以大区域或者省级为基础,关于西部地区、小范围市级、县级耕地质量时空变化的研究较少。而青海省西宁市是青藏高原地区人口超过百万的省会城市,也是国务院批复的西北地区重要的中心城市[11],自国家"标准"颁布和辖区更名以来,西宁市全域范围内耕地质量评价工作尚未见报道。同时,青海省耕地资源数量少,主要集中在西宁市和海东地区,整体质量偏低,且水土流失严重,因此准确掌握研究区域耕地质量时空变化及养分变化特征对青海省农业发展尤为重要[12-14]。本文以青海省西宁市作为研究对象,以全市的耕地质量监测点为坐标,依据"标准",结合GIS技术,构建耕地质量评价指标体系,对其耕地质量等级进行科学、合理评价,为该区域进一步调整农业结构、提升耕地质量等提供技术支撑[15]。

## 1 研究区概况

青海省西宁市(101°52′~101°54′ E, 36°13′~37°28′N)包括城中区、城东区、城西区、城北区、湟中区、湟源县、大通回族土族自治县(简称大通县)5区2县,地处青海省东部、青藏高原东北部,地势西南高、东北低,东西向呈条带状分布,是西部大发展的重要城市之一。该区域属大陆性高原半干旱、高原高山寒温性气候。全年平均日照时数2510.1 h;年平均气温5.5 ℃,最高气温34.6 ℃,最低气温-18.9 ℃;年平均降水量493.4 mm,蒸发量1363.6 mm。2018年,西宁市总面积$76.60\times10^4$ hm$^2$,耕地面积$14.47\times10^4$ hm$^2$,其中水浇地$2.72\times10^4$ hm$^2$,旱地$11.75\times10^4$ hm$^2$;常住人口$238.71\times10^4$人,农村人口$64.81\times10^4$人,占总人口的27.15%[16]。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究共布设调查样点310个(图1)。资料主要包括西宁市土地利用现状栅格数据图、土壤类型栅格数据图、行政区划矢量数据图,以及2015年和2018年土壤样品采集分析数据。土壤理化指标参考《土壤农化分析》、"标准"规定方法检测,并建立

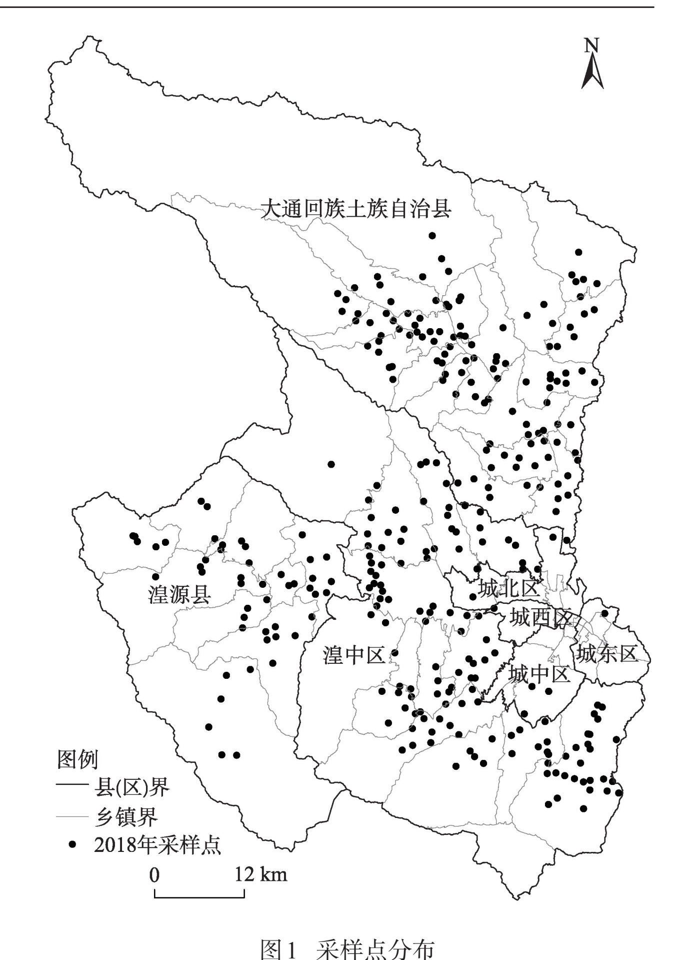



图1 采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points

耕地质量等级评价数据库[17]。将土壤类型栅格数据图、行政区划矢量数据图和土地利用现状栅格数据图叠加形成评价单元图,对评价单元属性赋值,建立耕地资源管理信息系统[18-20]。

### 2.2 评价单元确定

评价单元作为评价耕地质量的最小单元,评价单元的合理性直接关系到评价结果的准确性和合理性;因此评价单元的基本条件、单元属性应基本一致,又要存在差异。本研究采用叠置法和地块法,将土壤类型栅格数据图、行政区划矢量数据图和土地利用现状栅格数据图三者叠加形成图斑底图,将底图按照相关技术标准进行处理,共生成36762个评价单元,经过处理后的图斑属性唯一[21]。

### 2.3 评价指标体系及权重确定

评价指标的选取直接影响评价结果的准确性和实际性,在选择的评价指标中,要既能够反映本区域特点,在区域内存在较大变异,又在时间序列上能够保持相对稳定,并且容易获得[22]。耕地质量受很多因素的综合影响,其中自然因素是影响耕地

质量最重要的指标[23]。

如表1所示，本研究根据“标准”中规定的“N+X”指标体系结构，结合本研究区域的自然条件和实地状况，建立西宁市耕地质量等级评价指标体系[24-26]。其中，包括目标层、准则层和指标层3级结构，采用特尔斐法构造各指标的判断矩阵，后经计算得出各指标权重，将各指标权重按照准则层的分类标准分别相加后得出组合权重[27-28]。

### 2.4 确定评价指标的隶属度

根据模糊数学的基本原理，并结合西宁市耕地质量评价过程中部分评价指标的数值特性，拟合出峰型、戒上型、戒下型3种隶属函数，其他概念型函数直接采用特尔斐法给出相应隶属度[29-30]。其结果如表2、表3所示。

### 2.5 耕地质量等级划分及综合指数计算

根据“标准”，采用累加法计算各评价单元的耕地质量综合指数，计算公式[31-32]如下：

$$\mathrm{IFI} = \sum (C_i \times F_i) \tag{1}$$

式中：IFI为耕地质量综合指数；$C_i$为第$i$个评价指标的组合权重；$F_i$为第$i$个评价指标的隶属度。

按照“标准”的规定，等间距将耕地质量等级划分为10个等级。IFI越大，耕地质量越高，西宁市耕地质量综合指数范围在二至十等之间。为确保评价结果的与实际现状相符，使其能够对当地农业生产结构调整起到指导作用，对评价结果进行了实地验证和专家论证；最终结果如表4所示。研究区域

表1 西宁市耕地质量评价指标及权重

Tab. 1 Cultivated land quality evaluation indices and weights in Xining City

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 指标权重 | 组合权重 |
|---|---|---|---|---|
| 质量评价 | 土壤管理 | 灌溉能力 | 0.1261 | 0.1748 |
| | | 排水能力 | 0.0487 | |
| | 立地条件 | 地形部位 | 0.1096 | 0.2429 |
| | | 海拔 | 0.0980 | |
| | | 农田林网化程度 | 0.0353 | |
| | 土壤养分 | 有机质 | 0.0745 | 0.1769 |
| | | 速效钾 | 0.0489 | |
| | | 有效磷 | 0.0535 | |
| | 理化性状 | 耕层质地 | 0.0698 | 0.1723 |
| | | 土壤容重 | 0.0527 | |
| | | pH | 0.0498 | |
| | 剖面性状 | 有效土层厚度 | 0.0569 | 0.1707 |
| | | 质地构型 | 0.0668 | |
| | | 障碍因 | 0.0470 | |
| | 健康状况 | 生物多样性 | 0.0361 | 0.0624 |
| | | 清洁程度 | 0.0263 | |

表2 西宁市耕地质量评价指标隶属函数

Tab. 2 Membership functions of cultivated land quality evaluation indices in Xining City

| 指标名称 | 函数类型 | 函数公式 | $a$ | $c$ | $U_1$ | $U_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 峰型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 0.225097 | 6.685037 | 0.4 | 13.0 |
| 有机质 | 戒上型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 0.006107 | 27.680348 | 0.0 | 27.7 |
| 速效钾 | 戒上型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 0.000026 | 293.758384 | 0.0 | 294.0 |
| 有效磷 | 戒上型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 0.001821 | 38.076968 | 0.0 | 38.1 |
| 土壤容重 | 峰型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 13.854674 | 1.250789 | 0.4 | 2.1 |
| 有效土厚度 | 戒上型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 0.000232 | 131.349274 | 0.0 | 131.0 |
| 海拔 | 戒下型 | $y=1/[1+a\times(u-c)^2]$ | 0.000001 | 649.407006 | 649.4 | 3 649.4 |

注：$y$为因子隶属度；$u$为样品实测值；$a$为指标系数；$c$为标注指标；$U_1$为指标下限值；$U_2$为指标上限值。

表3 西宁市耕地质量评价指标属性及其隶属度

Tab. 3 Attribute and membership degree of cultivated land quality evaluation indices in Xining City

| 评价指标 | 指标属性(隶属度) |
|---|---|
| 地形部位 | 冲积平原(1)、河谷平原(1)、河谷阶地(0.9)、洪积平原(0.85)、黄土塬(0.8)、黄土台塬(0.7)、河漫滩(0.7)、低台地(0.7)、黄土残塬(0.65)、低丘陵(0.65)、黄土坪(0.65)、高台地(0.65)、黄墹(0.65)、黄土梁(0.6)、高丘陵(0.6)、低山(0.5)、黄土峁(0.5)、固定沙地(0.4)、风蚀地(0.4)、中山(0.4)、半固定沙地(0.3)、流动沙地(0.2)、高山(0.2)、极高山(0.2) |
| 耕层质地 | 砂土(0.4)、砂壤(0.6)、轻壤(0.85)、中壤(1)、重壤(0.8)、黏土(0.6) |
| 生物多样性 | 丰富(1.0)、一般(0.7)、不丰富(0.4) |
| 质地构型 | 薄层型(0.4)、松散型(0.4)、紧实型(0.6)、夹层型(0.5)、上紧下松型(0.7)、上松下紧型(1.0)、海绵型(0.9) |
| 清洁程度 | 清洁(1.0)、尚清洁(0.7)、轻度污染(0.5)、中度污染(0.3)、重度污染(0.0) |
| 障碍因素 | 盐碱(0.4)、瘠薄(0.6)、酸化(0.7)、渍潜(0.5)、障碍层次(0.5)、无(1.0) |
| 灌溉能力 | 充分满足(1.0)、满足(0.7)、基本满足(0.5)、不满足(0.3) |
| 排水能力 | 充分满足(1.0)、满足(0.7)、基本满足(0.5)、不满足(0.3) |
| 农田林网化 | 高(1.0)、中(0.7)、低(0.4) |

表4 西宁市耕地质量综合指数划分标准

Tab. 4 Classification standard for comprehensive index of cultivated land quality in Xining City

| 耕地质量等级 | 耕地质量综合指数范围 | 耕地质量等级 | 耕地质量综合指数范围 |
|---|---|---|---|
| 一 | ≥0.904 | 六 | 0.714~0.752 |
| 二 | 0.866~0.904 | 七 | 0.676~0.714 |
| 三 | 0.828~0.866 | 八 | 0.638~0.676 |
| 四 | 0.790~0.828 | 九 | 0.600~0.638 |
| 五 | 0.752~0.790 | 十 | <0.600 |

平均耕地质量等级采用面积加权平均法计算,计算公式[27]如下:

$$\mathrm{AI}=\sum(I\times A)/\mathrm{SA} \tag{2}$$

式中:AI为耕地质量平均等级;$I$为耕地质量等级;$A$为各等级耕地所占面积(hm²);SA为研究区总耕地面积(hm²)。

## 3 结果与分析

### 3.1 耕地质量等级时空变化

**3.1.1** ***耕地质量等级面积变化*** 由表5可知,西宁市2015年耕地总面积为144707.79 hm²,高、中、低等地面积由低到高依次为6237.12 hm²、51460.56 hm²、87010.11 hm²,占比分别为4.31%、35.56%、60.13%;2018年高、中、低等地面积由低到高依次为10418.15 hm²、49428.85 hm²、84860.79 hm²,占比分别为7.20%、34.16%、58.64%;2018年高等地面积较2015年增加2.89%,中、低等地面积分别减小1.40%、1.49%。高等地中,三等地2015、2018年占比分别为97.84%、99.48%,2018年面积较2015年增加2.94%。中等地中,四等地2015、2018年占比分别为28.66%、35.72%,五等地2015、2018年占比分别为43.33%、52.03%,六等地2015、2018年占比分别为28.02%、12.25%;2018年四、五等地面积较2015年分别增加2.01%、2.36%,六等地面积下降5.78%。低等地中,七等地2015、2018年占比分别为20.72%~44.70%,八等地2015、2018年占比分别为57.34%~45.22%,九等地2015、2018年占比分别为18.90%~10.08%;2018年八、九等地面积较2015年分别减小7.96%、5.46%,七等地面积增加13.76%。西宁市无一等地,二等地和十等地占比低于2%,影响极低。西宁市平均耕地质量等级进行计算可知,2015年和2018年平均耕地质量等级分别为6.74和6.33,2018

表5 西宁市耕地质量等级面积变化

Tab. 5 Area change of cultivated land quality grades in Xining City

| 分级标准 | 耕地质量等级 | 面积/hm² 2015年 | 面积/hm² 2018年 |
|---|---|---|---|
| 高等 | 一 | 0.00 | 0.00 |
| | 二 | 134.57 | 54.21 |
| | 三 | 6102.55 | 10363.94 |
| 中等 | 四 | 14746.86 | 17656.44 |
| | 五 | 22296.27 | 25717.17 |
| | 六 | 14417.43 | 6055.24 |
| 低等 | 七 | 18027.17 | 37932.66 |
| | 八 | 49893.95 | 38376.37 |
| | 九 | 16448.76 | 8550.54 |
| | 十 | 2640.23 | 1.22 |
| | 总计 | 144707.79 | 144707.79 |

年较2015年质量等级提升0.41。

**3.1.2　主要区县耕地质量等级变化**　由图2可知，西宁市2015年的高等地主要集中在大通县东南部的长宁镇和城北区大堡子镇，湟中区中部区较少；2018年主要分布在湟中区汉东乡及城北区，4 a间高等地的面积减小。中等地2015年和2018年在研究区均有分布，4 a间区域变化不大，主要集中在中部的湟中区和北部大通县的中南部。低等地分布较广，各县（区）均有分布，主要在高、中等地四周及边缘靠山区，其中2015年以湟中区和大通县居多，2018年湟中区和湟源县分布较多。

由图3和表6可知，2018年与2015年相比，西宁市耕地质量提升、下降、不变的面积分别占总面积的43.585%、7.231%、49.180%。耕地质量等级最高可提升3个等级，仅出现在城中区；等级提升1的耕地面积最大，为56560.41 $hm^2$，占总耕地面积的39.086%，主要集中在中部的湟中区、北部的大通县及西部的湟源县。耕地质量等级最多下降2个等级，出现在大通县和城北区；等级下降1的耕地面积达10427.24 $hm^2$，占总耕地面积的7.206%。等级下降2和提升2、3的耕地面积较小，仅占评价区总面积的4.524%。等级不变的耕地面积在7个县（区）均有分布。

### 3.2　耕地质量等级土壤主要养分变化

由表7可知，相较2015年，2018年高等地土壤有机质含量均明显提高，其中三等地有机质含量提高18.83%，评价等级从2级上升为1级，二等地有机质含量提高，但评价等级未发生变化；二、三等地有效磷含量分别下降40.60%、54.16%，三等地评价等级下降1，二等地评价等级未发生变化；二、三等地速效钾含量分别下降57.04%、41.75%，二者评价等级均下降1。中等地中，土壤有机质含量均增加，四等地增幅最大为16.92%，其评价等级提升1，五、六等地有机质含量分别提高13.09%、10.71%，但评价等级均未发生变化；有效磷含量变化趋势不一，五、六等地有效磷含量分别提高23.72%、30.69%，四等地有效磷含量则降低27.27%，其中四、五等地评价等级分别降低1和提升1，六等地评价等级保持不变；四、五、六等地速效钾含量变化较小，均保持评价等级不变。低等地中，七、八、九等地土壤有机质和有效磷含量均有提高，有机质含量在九等地评价等级提升1，而七、八等地评价等级未发生变化，有效磷含量在七、九等地评价等级均提升1，八等地有效磷含量虽增加，但评价等级未发生改变，十等地

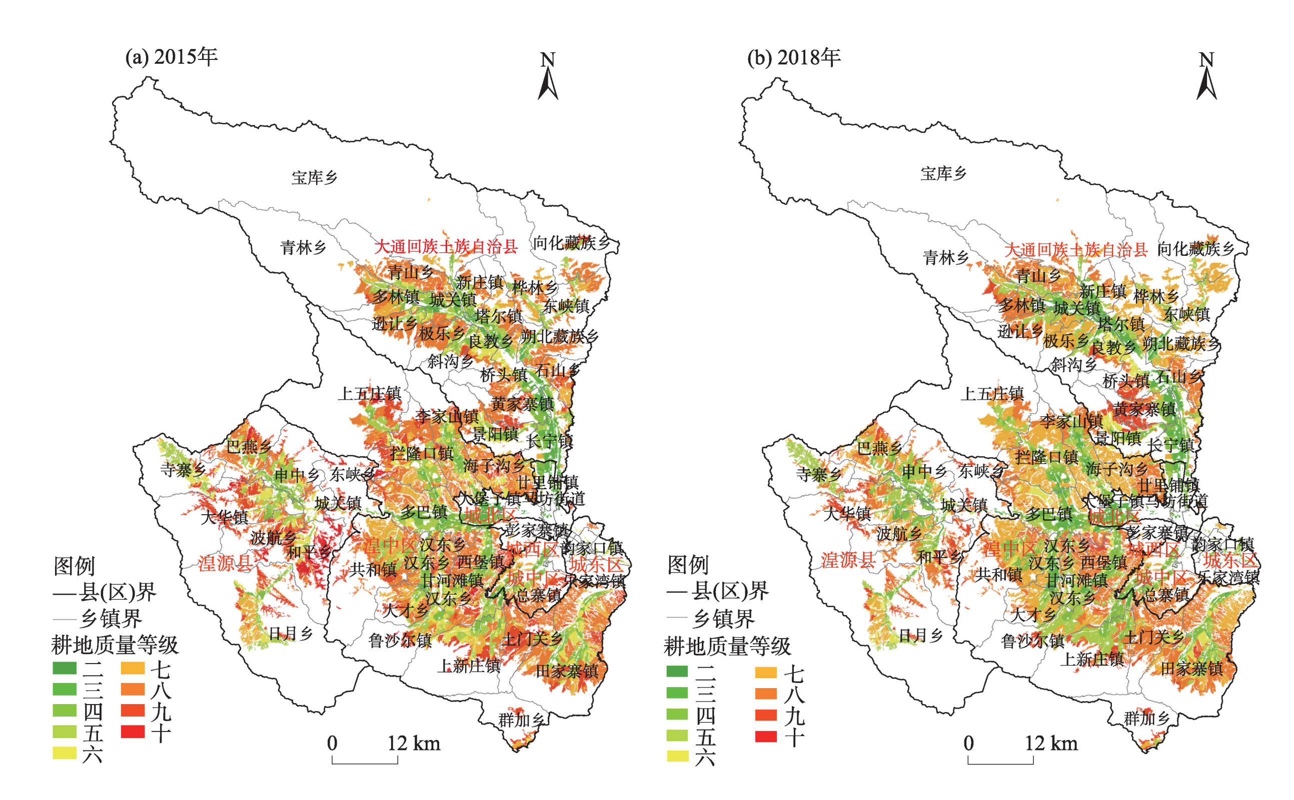



图2　2015年和2018年西宁市耕地质量等级空间分布

Fig. 2　Spatial distributions of cultivated land quality grade in Xining City in 2015 and 2018

均有分布。

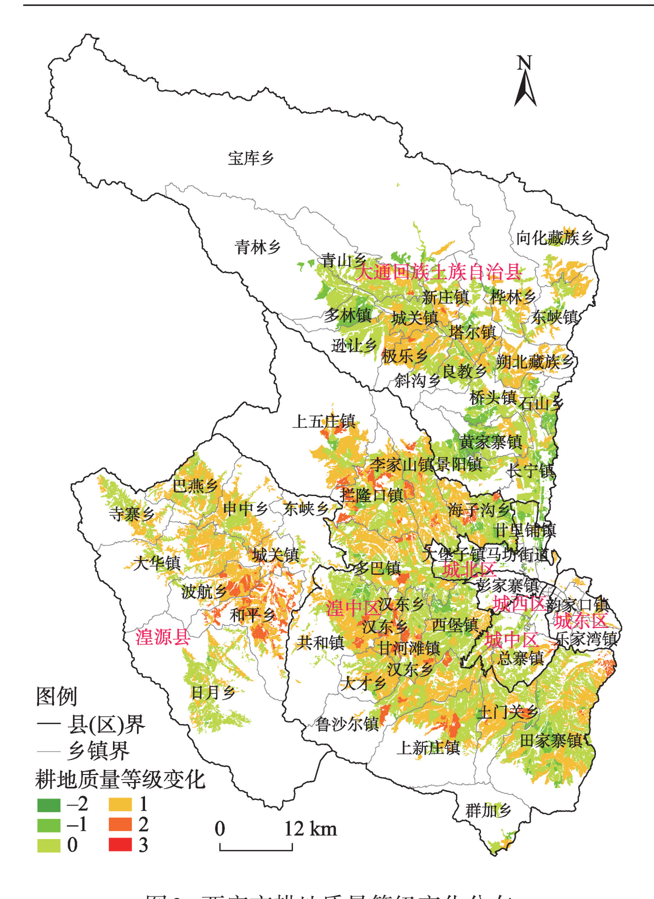



图3 西宁市耕地质量等级变化分布

Fig. 3 Distribution of cultivated land quality grade change in Xining City

土壤有机质和有效磷含量均下降,其有机质含量评价等级下降1;速效钾含量在七、九、十等地均增加,而八等地的速效钾含量下降,但低等地的速效钾含量均保持原评价等级不变。

### 3.3 耕地质量等级实地验证

依据2018年西宁市耕地质量评价等级及空间分布,随机抽取9个不同质量等级样点,实地调查、采样分析(表8)。随耕地质量等级降低,土壤养分含量呈下降趋势,海拔呈升高趋势。高和中等地耕层质地主要为中壤和重壤,低等地主要为砂壤和黏土;土壤pH、质地构型、有效土层厚度在不同质量等级的耕地间均无明显差异。各验证样点耕地的地形部位、灌溉条件符合相应耕地质量等级的要求。结合实地调查和采样化验结果,综合对比分析耕地评价等级与主要评价指标、实际情况有较好的一致性。

## 4 讨 论

《耕地质量等级》(GB/T 33469–2016),此标准是中国在耕地质量等级评价方面的第一部国家标准,统一了全国耕地质量评价的尺度和方法,为全国开展耕地质量评价提供了科学的技术和方法指导[33]。该标准的发布与实施,为科学评估当前耕地质量保护现状,推动质量提升和保护工作同步开展、农业生产结构转型,促进农业可持续发展奠定基础[34]。本文对西宁市2015年和2018年耕地质量进行评价,在上述措施的实施下,耕地质量等级总体提升0.41;但主要以低等地为主,其面积占总耕地面的58.64%~60.13%,与全国中、低等地面积占70%左右的整体情况相近。耕地质量等级总体提升主要来自三、四、五、七等地面积增加。

西宁市位于西北地区的黄土高原地区,坡耕地面积超过20%,大量的坡耕地导致严重水土流失,破坏耕地资源,降低耕地质量,制约经济社会的可持续发展[35]。高、中等地主要集中在中部的湟中区及北部大通县,4 a间耕地质量提升明显;低等地主

表6 西宁市耕地质量等级变化面积分布

Tab. 6 Area distribution of cultivated land quality grade change in Xining City

| 等级变化 | 面积/hm² | 占比/% | 面积/hm² | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 城北区 | 城东区 | 城西区 | 城中区 | 大通县 | 湟源县 | 湟中区 |
| 3 | 3.21 | 0.002 | – | – | – | 3.21 | – | – | – |
| 2 | 6507.06 | 4.497 | 14.32 | 24.86 | – | 34.79 | 273.07 | 1986.46 | 4173.56 |
| 1 | 56560.41 | 39.086 | 138.94 | 185.93 | 53.63 | 633.36 | 17338.94 | 10968.45 | 27241.16 |
| 0 | 71172.99 | 49.184 | 1700.43 | 28.69 | 529.41 | 1262.36 | 29478.63 | 7723.80 | 30449.67 |
| –1 | 10427.24 | 7.206 | 388.82 | – | 40.78 | 7.25 | 7228.46 | 44.91 | 2717.02 |
| –2 | 36.88 | 0.025 | 6.50 | – | – | – | 30.38 | – | – |
| 总计 | 144707.79 | 100.000 | 2249.01 | 239.48 | 623.82 | 1940.97 | 54349.48 | 20723.62 | 64581.41 |

注:质量等级变化中的负值代表耕地质量等级下降,正值代表耕地质量等级上升;"–"表示相应县(区)范围内无对应耕地质量等级变化;大通县为大通回族土族自治县的简称。下同。

表7　西宁市不同耕地质量等级土壤主要养分分布特征

Tab. 7　Distribution characteristics of main soil nutrients in different cultivated land quality grades in Xining City

| 年份 | 分级标准 | 质量等级 | 有机质 | | 有效磷 | | 速效钾 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 含量/g·kg$^{-1}$ | 评价等级 | 含量/mg·kg$^{-1}$ | 评价等级 | 含量/mg·kg$^{-1}$ | 评价等级 |
| 2015 | 高等 | 二 | 23.02 | 1 | 108.52 | 1 | 300.99 | 1 |
| | | 三 | 19.86 | 2 | 55.73 | 1 | 239.67 | 2 |
| | 中等 | 四 | 19.80 | 2 | 34.07 | 2 | 210.97 | 2 |
| | | 五 | 22.04 | 1 | 20.87 | 3 | 196.06 | 3 |
| | | 六 | 20.47 | 1 | 18.64 | 3 | 175.82 | 3 |
| | 低等 | 七 | 23.14 | 1 | 22.00 | 3 | 190.79 | 3 |
| | | 八 | 20.52 | 1 | 19.68 | 3 | 186.80 | 3 |
| | | 九 | 18.16 | 2 | 14.85 | 4 | 150.88 | 3 |
| | | 十 | 15.48 | 2 | 12.45 | 4 | 134.47 | 4 |
| 2018 | 高等 | 二 | 24.43 | 1 | 64.46 | 1 | 243.95 | 2 |
| | | 三 | 23.60 | 1 | 25.55 | 2 | 197.92 | 3 |
| | 中等 | 四 | 23.15 | 1 | 24.78 | 3 | 200.90 | 2 |
| | | 五 | 24.93 | 1 | 25.82 | 2 | 185.21 | 3 |
| | | 六 | 22.67 | 1 | 24.36 | 3 | 183.88 | 3 |
| | 低等 | 七 | 24.31 | 1 | 27.54 | 2 | 193.78 | 3 |
| | | 八 | 23.51 | 1 | 24.30 | 3 | 184.00 | 3 |
| | | 九 | 22.13 | 1 | 19.93 | 3 | 166.20 | 3 |
| | | 十 | 13.92 | 3 | 12.38 | 4 | 139.81 | 4 |

注：有机质、有效磷、速效钾均为对应质量等级耕地土壤养分的平均值。

表8　西宁市不同耕地质量等级验证信息对照

Tab. 8　Comparison of verification information of different cultivated land quality grades in Xining City

| 分级标准 | 质量等级 | 县(区) | 实验室分析项目 | | | | 实地调查项目 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 有机质 /g·kg$^{-1}$ | 有效磷 /mg·kg$^{-1}$ | 速效钾 /mg·kg$^{-1}$ | pH | 质地构型 | 耕层质地 | 有效土层厚度/cm | 灌溉条件 | 海拔/m | 地形部位 |
| 高等 | 二 | 湟中区 | 26.30 | 31.70 | 193.00 | 8.1 | 上松下紧型 | 中壤 | 128 | 充分满足 | 2169 | 河谷阶地 |
| | 三 | 大通县 | 24.80 | 40.00 | 142.00 | 8.2 | 上松下紧型 | 中壤 | 122 | 充分满足 | 2481 | 河谷阶地 |
| 中等 | 四 | 城东区 | 20.40 | 24.60 | 211.00 | 8.2 | 上松下紧型 | 黏土 | 134 | 充分满足 | 2219 | 河谷阶地 |
| | 五 | 城北区 | 20.80 | 27.90 | 236.00 | 8.3 | 上松下紧型 | 中壤 | 144 | 满足 | 2409 | 河谷阶地 |
| | 六 | 大通县 | 15.40 | 26.10 | 145.00 | 8.3 | 上松下紧型 | 重壤 | 127 | 满足 | 2424 | 河谷阶地 |
| 低等 | 七 | 城西区 | 23.60 | 19.10 | 192.00 | 8.2 | 上松下紧型 | 黏土 | 138 | 不满足 | 2562 | 中山 |
| | 八 | 城中区 | 25.80 | 21.50 | 198.00 | 8.3 | 上松下紧型 | 黏土 | 130 | 不满足 | 2567 | 中山 |
| | 九 | 湟源县 | 25.30 | 22.80 | 170.00 | 8.4 | 海绵型 | 砂壤 | 117 | 不满足 | 3228 | 高山 |
| | 十 | 湟中区 | 18.90 | 16.50 | 148.00 | 8.4 | 上松下紧型 | 黏土 | 141 | 不满足 | 2568 | 中山 |

要分布在边缘靠山区及海拔较高地区，灌溉条件较差，土壤侵蚀严重，导致部分耕地质量下降[36]。近年来，青海省实施坡耕地水土流失综合治理及化肥减量增效项目，目前已完成坡改梯1.58×10$^4$ hm$^2$，化肥减量增效试点面积达20×10$^4$ hm$^2$，坡耕地面积减小，农业生产条件和环境大幅改善，土壤侵蚀得到有效控制。在未来耕地质量提升的过程中，低等地分布区应该作为重点治理区域。

耕地质量的高低能够反映耕地质量现状，本次评价结果与实际情况较为相符，为该区域耕地保护和合理利用提供了参考，为开展新时期耕地质量等级提升和高标准农田建设项目提供理论依据。但耕地的质量不稳定，会随着种植方式、农田基础建设、自然灾害等发生变化[37-38]；因此，应及时更新耕地质量，确保对农业生产的正确引导。在今后的生产和农田建设的过程中，应遵循本区域实际，加强耕地资源保护和环境保护，因地制宜，坚持应退必退原则，在保证耕地质量稳中有增的前提下，走绿色、优质、高效、具有当地特色的农业发展之路。

建议在该农业生产中适当地增加氮肥和钾肥的施用。但对于氮肥的施用量仍需要进一步调研，因为在实际生产中氮肥的应用较为广泛，土壤中氮素含量的等级应提升较大，因此在西宁市应当提高重视，从而提升经济效益。西宁市土壤养分含量在黄土高原区有机质含量处于较高水平，有效磷和速效钾含量整体处于中等水平，该区域内黑钙土和栗钙土分布面积占总耕地面积的85%左右，其主要是在草甸草原、干草原和草原植被下发育而来的土壤，本身具有较高的养分含量，这与康钦俊[9]研究的青海省东部高海拔地区土壤养分含量较高的结果一致。

## 5 结 论

本研究采用模糊综合评价的方法，通过构建西宁市耕地质量评价指标体系，并结合GIS技术，对西宁市2015年和2018年耕地质量等级进行评价，同时分析西宁市耕地质量等级时空分布和土壤养分特征。主要结论如下：

（1）西宁市2015年和2018年耕地质量平均等级分别为6.74和6.33，4 a间提升0.41。耕地质量等级的总体提升主要来自于三、四、五、七等地，其中2018年高、中等地的总面积占耕地总面积的比例与2015年相比，增加了1.49%。

（2）4 a间，西宁市耕地质量等级在空间分布上差异较大，高、中等地主要集中在中部的湟中区及北部大通县，低等地主要分布在边缘靠山区及海拔较高地区，耕地质量提升的耕地主要来自大通县、湟源县、湟中区。

（3）西宁市2018年的耕地土壤有机质、有效磷、速效钾含量与2015年相比均提升，其中有效磷含量的含量提升较多，且评价等级提升1个等级。随耕地质量等级降低，土壤养分含量呈下降趋势，海拔呈升高趋势。

## 参考文献（References）


[1] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树. 我国耕地地力评价研究进展[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 866-871. [Lu Mingxing, He Liyuan, Wu Lishu. Fertility evaluation of cultivated land in China: A review[J]. Ecology and Environmen, 2006, 15(4): 866-871. ]

[2] 陈印军, 向雁, 金轲. 论耕地质量红线[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 1-4. [Chen Yinjun, Xiang Yan, Jin Ke. On arable land quality red line[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(3): 1-4. ]

[3] Li F P, Liu W, Lu Z B, et al. A multi-criteria evaluation system for arable land resource assessment[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(2): 79, doi: 10.1007/s10661-019-8023-x.

[4] 李秀军, 田春杰, 徐尚起, 等. 我国农田生态环境质量现状及发展对策[J]. 土壤与作物, 2018, 7(3): 267-275. [Li Xiujun, Tian Chunjie, Xu Shangqi, et al. Current situation of ecological environment quality and countermeasures in China' s farmland[J]. Soil and Crop, 2018, 7(3): 267-275. ]

[5] 杨文杰, 巩前文. 城乡融合视域下农村绿色发展的科学内涵与基本路径[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(1): 18-29. [Yang Wenjie, Gong Qianwen. The scientific connotation and the basic path of rural green development from the perspective of urban-rural integration[J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(1): 18-29. ]

[6] 文森. 重庆市耕地资源安全与预警研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008. [Wen Sen. Study on cultivated land security and early warning: A case study of Chongqing City[D]. Chongqing: Southwest University, 2008. ]

[7] 李效顺, 曲福田, 谭荣, 等. 中国耕地资源变化与保护研究——基于土地督察视角的考察[J]. 自然资源学报, 2009, 24(3): 387-401. [Li Xiaoshun, Qu Futian, Tan Rong, et al. Research on the variations and protection of the cropland in China[J]. Journal of Natural Resurous, 2009, 24(3): 387-401. ]

[8] 姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 104-114. [Yao Dongheng, Pei Jiubo, Wang Jingkuan. Temporal-spatial changes in cultivated land quality in a black soil region of northeast China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 104-114. ]

[9] 康钦俊. 黄土高原区土壤养分空间变异及其耕地质量评价[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019. [Kang Qinjun. Spatial variability of soil nutrients in the Loess Plateau region and evaluation of its arable land quality[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2019. ]

[10] 戴文举, 王东杰, 卢瑛, 等. 华南地区县域耕地质量和产能评价研究——以广东吴川为例[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(4): 419-430. [Dai Wenju, Wang Dongjie, Lu Ying, et al. Evaluation of county level cultivated land quality and productivity in south China: A case study of Wuchuan City, Guangdong Province[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2019, 36(4): 419-430. ]

[11] 王昊煜, 高培超, 谢一茹, 等. 基于改进型NSGA-Ⅱ算法的西宁市土地利用多目标优化[J]. 地理与地理信息科学, 2020, 36(6): 84-89. [Wang Haoyu, Gao Peichao, Xie Yiru, et al. Multi-objective optimization of land use in Xining City based on improved NSGA-Ⅱ[J]. Geography and Geo-information Science, 2020, 36(6): 84-89. ]

[12] 司慧娟, 袁春, 曹银贵, 等. 青海省耕地利用变化区域差异及管理对策研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 321-325. [Si Huijuan, Yuan Chun, Cao Yingui, et al. Research on regional differences of cultivated land changes and countermeasures in Qinghai Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(6): 321-325. ]

[13] Li Q X, Jia Z Q, Zhu Y S, et al. Spatial heterogeneity of soil nutrients after the establishment of *Caragana intermedia* plantation on sand dunes in alpine sandy land of the Tibet Plateau[J]. PLoS One, 2015, 10(5): e124456, doi: 10.1371/journal.pone.0124456.

[14] Roger A, Libohova Z, Sinaj S, et al. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg Canton, Switzerland[J]. Geoderma, 2014, 217-218: 26-36.

[15] 周岩. 基于局域空间自相关的吉林省耕地质量空间分布分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(32): 200-203, 208. [Zhou Yan. Spatial distribution of cropland quality in Jilin Province based on local spatial auto-correlation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(32): 200-203, 208. ]

[16] 向丽, 周伟, 任君, 等. 基于DPSIRM模型的高原城市湿地生态安全评价——以湟水流域西宁段为例[J]. 生态学杂志, 2022, 41(10): 2064-2071. [Xiang Li, Zhou Wei, Ren Jun, et al. Ecological security evaluation of plateau urban wetland based on DPSIRM model: With Xining section of Huangshui Basin as an example[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(10): 2064-2071. ]

[17] 李子杰, 高沪宁, 丁琪洵, 等. 基于Moran's *I*的安徽省太湖县耕地质量时空格局分析[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 350-356. [Li Zijie, Gao Huning, Ding Qixun, et al. Analysis on temporal and spatial patterns of cultivated land quality based on Moran's *I* in Taihu County, Anhui Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 350-356. ]

[18] 汪甜甜, 费坤, 江文娟, 等. 宣州区耕地质量等级评价及灌排能力对耕地质量影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(11): 79-89. [Wang Tiantian, Fei Kun, Jiang Wenjuan, et al. Soil quality classification and the impact of irrigation and drainage in the region of Xuanzhou in Anhui Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(11): 79-89. ]

[19] 侯淑涛, 邸延顺, 程光大, 等. 黑龙江明水县耕地质量综合评价[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 232-236, 240. [Hou Shutao, Di Yanshun, Cheng Guangda, et al. Comprehensive evaluation of cultivated land quality in Mingshui County, Heilongjiang Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(4): 232-236, 240. ]

[20] 张兴嘉, 蔡立群, 董博. 基于县域耕地资源管理信息系统的土壤综合肥力评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 138-141. [Zhang Xingjia, Cai Liqun, Dong Bo. The comprehensive soil fertility evaluation based on the arable land resources management information system of a county[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(4): 138-141. ]

[21] 张鸿辉, 刘友兆, 曾永年, 等. 基于GIS的耕地质量预警系统设计与实现[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(10): 3174-3176, 3180. [Zhang Honghui, Liu Youzhao, Zeng Yongnian, et al. Design and implementation of cultivated land quality early-warning system based on GIS[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(10): 3174-3176, 3180. ]

[22] 赵彦锋, 程道全, 陈杰, 等. 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1197-1208. [Zhao Yanfeng, Cheng Daoquan, Chen Jie, et al. Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(6): 1197-1208. ]

[23] 赵小娟, 叶云, 周晋皓, 等. 珠三角丘陵区耕地质量综合评价及指标权重敏感性分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 226-235. [Zhao Xiaojuan, Ye Yun, Zhou Jinhao, et al. Comprehensive evaluation of cultivated land quality and sensitivity analysis of index weight in hilly region of Pearl River Delta[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(8): 226-235. ]

[24] 吕宁, 吕新, 张泽, 等. 基于GIS的绿洲农田土壤养分现状及地力评价研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 8-13. [Lü Ning, Lü Xin, Zhang Ze, et al. Research on soil nutrient status and soil fertility evaluation based on GIS[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(2): 8-13. ]

[25] 高涵, 陈伟强, 郧文聚, 等. 东北典型平原区耕地健康产能评价与验证——以吉林省大安市为例[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 784-794. [Gao Han, Chen Weiqiang, Yun Wenju, et al. Evaluation and verification of healthy productivity of cultivated land in the typical plain area of northeast China: A case study of Da'an City, Jilin Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51(4): 784-794. ]

[26] 谢叶伟, 赵军, 李勇, 等. 基于GIS的典型黑土区海伦市耕地地力评价研究[J]. 干旱区地理, 2011, 34(2): 325-330. [Xie Yewei, Zhao Jun, Li Yong, et al. Assessment of cropland productivity based on GIS for typical black soil region at Hailun County[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(2): 325-330. ]

[27] 孙妍芳, 裴久渤, 张立江, 等. 辽宁棕壤耕地质量评价及障碍因素类型分区研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(11): 130-

137, 144. [Sun Yanfang, Pei Jiubo, Zhang Lijiang, et al. Assessment of cultivated land quality and obstacle factors zoning of brown earth: A case study of Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38 (11): 130-137, 144. ]

[28] 陈初红, 邹忠, 周鹤. 耕地地力评价因子权重及隶属度的确定[J]. 现代农业科技, 2011(12): 280-281. [Chen Chuhong, Zou Zhong, Zhou He. Determination of weighting and membership of farmland evaluation factors[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(12): 280-281. ]

[29] 马倩倩, 董博, 许旺旺, 等. 干旱区耕地质量等级评价及土壤养分与盐渍化的分析研究——以民勤绿洲为例[J]. 干旱区地理, 2021, 44(2): 514-524. [Ma Qianqian, Dong Bo, Xu Wangwang, et al. Evaluation of the quality level of arable land in arid areas and the analysis of soil nutrients and salinization: A case study of Minqin Oasis[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(2): 514-524. ]

[30] 李双异, 刘慧屿, 白伟, 等. 耕地地力演变及其与种植业结构关系分析[J]. 土壤通报, 2016, 47(6): 1300-1305. [Li Shuangyi, Liu Huiyu, Bai Wei, et al. Evolution of cultivated land productivity and its relationship with planting structure[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47(6): 1300-1305. ]

[31] 郁洁, 高晖, 李文西, 等. 基于GIS的江苏省耕地质量等级评价[J]. 中国土壤与肥料, 2022(3): 222-230. [Yu Jie, Gao Hui, Li Wenxi, et al. Evaluation of cultivated land quality in Jiangsu Province based on GIS[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2022 (3): 222-230. ]

[32] 李小刚, 马友华, 张益, 等. 基于模糊评价与BP神经网络模型的耕地质量评价对比研究——以淮北平原凤台县为例[J]. 土壤通报, 2015, 46(4): 816-822. [Li Xiaogang, Ma Youhua, Zhang Yi, et al. Comparison of fuzzy evaluation and BP neural network applied for cultivated land quality evaluation: A case study at Fengtai County[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2015, 46(4): 816-822. ]

[33] 郑梦蕾, 丁世伟, 李子杰, 等. 耕地质量监测与评价研究进展[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(3): 9-14. [Zheng Menglei, Ding Shiwei, Li Zijie, et al. Research progress of cultivated land quality monitoring and evaluation[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2021, 33(3): 9-14. ]

[34] 初侨, 燕艳华, 翟明普, 等. 现代农业全产业链标准体系发展路径与对策研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(3): 8-15. [Chu Qiao, Yan Yanhua, Zhai Mingpu, et al. Whole industrial chain standards system of modern agriculture: Development path and countermeasures[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(3): 8-15. ]

[35] 杨子生. 基于可持续发展的山区省份耕地总量动态平衡研究——以云南省为例[J]. 资源科学, 2001, 23(5): 33-40. [Yang Zisheng. A study on the dynamic balance of total cultivated land amount in the province of mountain region on the basis of sustainable development: Taking Yunnan Province as an example[J]. Resources Science, 2001, 23(5): 33-40. ]

[36] Yin Q Y, Duan Z S, Li X, et al. Cultivated land quality analysis of Karst mountain areas based on GIS: A case study of Jingxi County [J]. Hunan Agricultural Science & Technology Newsletter: HASTN, 2014, 15(8): 1407, doi: 10.16175/j.cnki.1009-4229.2014.08.089.

[37] 祖健, 郝晋珉, 陈丽, 等. 耕地数量、质量、生态三位一体保护内涵及路径探析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(7): 84-95. [Zu Jian, Hao Jinmin, Chen Li, et al. Analysis on trinity connotation and approach to protect quantity, quality and ecology of cultivated land[J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(7): 84-95. ]

[38] 康甜甜. 基于灰靶模型的宜兴市耕地质量评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2016. [Kang Tiantian. Evaluation of arable land quality in Yixing City based on grey target model[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016. ]

# Spatiotemporal variation and evaluation of cultivated land quality grade in arid areas: A case of Xining City

PAN Xue[1], GUAN Yuqi[2], PAN Zhandong[2], LIU Jie[1], CAI Liqun[2], DONG Bo[3], DU Jian[2]

(1. Heilongjiang Institute of Black Soil Conservation and Utilization, Harbin 150000, Heilongjiang, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** Taking Xining City of Qinghai Province, China, as the research object, based on the quality grade of arable land (GB/T33469−2016), the Delphi method, hierarchical analysis, and fuzzy mathematics were used to construct the evaluation index system of arable land quality in Xining City. Combined with geographic information system software technology, the quality of arable land in Xining City in 2015 and 2018 was evaluated, the spatial and temporal distribution of arable land quality and soil nutrient characteristics in Xining City were analyzed, and the current situation of arable land quality in Xining was explored. The results showed the following: (1) The average arable land quality grades in 2015 and 2018 were 6.74 and 6.33, respectively, with an improvement of 0.41 between 4 a. The overall improvement of arable land quality grades mainly came from the grades third, fourth, fifth, and seventh, whose total area of high and medium grades increased by 1.49% in 2018 compared with 2015. (2) Regarding 4 a between the quality level of arable land in the spatial distribution of large differences, high and medium lands are mainly concentrated in the central Huanzhong District and the northern Datong County, low land is mainly distributed in the edge by the mountains and higher altitude areas, and the quality of arable land improved mainly from Datong County, Huangyuan County, and Huanzhong District. (3) Compared with 2015, the content of soil organic matter, available phosphorus, and rapidly available potassium increased in 2018, among which the evaluation grade of available phosphorus content increased. This study performed a comprehensive evaluation of the quality of arable land in the whole area of Xining City, and the results can well reflect the current quality of arable land in the area and have guiding significance for agricultural production.

**Key words:** cultivated land quality; change of rank; spatial distribution; geographic information system (GIS); Xining City